

# Adaptación de la metodología Seis Sigma como estrategia de gestión ambiental para el desarrollo sostenible

Adaptation of six sigma methodology as environmental management strategy for sustainable development

Néstor Enrique Caicedo Solano<sup>1</sup>

Ralphy Polo A.<sup>2</sup>

Harold José Hernández Mendoza<sup>3</sup>

## Resumen

Una empresa esbelta es aquella que logra continuas mejoras en todos sus procesos, tanto administrativos como manufactureros. Estas se logran incorporando en la cultura empresarial filosofías que permitan llevar a cabo proyectos que den respuesta a situaciones del entorno, que puedan llegar a afectar a los procesos, los productos, el medioambiente y en general a toda la empresa y lo que la rodea. Los proyectos de mejora –cuando se logran con los resultados esperados–, generan ventajas competitivas sostenibles.

Este artículo se enfoca en la adaptación de la metodología que se desarrolla en los pasos definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAMC), de los programas Seis Sigma como estrategia para la gestión ambiental, para buscar la reducción de los costos asociados y el ciclo de mejora continua aplicado. Esto con el fin de lograr un desarrollo sostenible en la relación producción-minimización del impacto ambiental, de manera que las compañías se vuelvan entes co-responsables del medioambiente y dinamizadores de los modelos de gestión y desarrollo sostenible. El artículo cita la evidencia con un caso de estudio del modelo propuesto, del cual se plantean los pasos y, al final, los resultados del mismo.

**Palabras claves:** Seis Sigma, calidad, experimentos, costos, desarrollo sostenible.

## Abstract

A lean enterprise is the one that achieves continuous improvements in all processes, both administrative and manufacturing. These improvements are achieved by incorporating the philosophies that allow corporate culture to implement projects that respond to environmental situations that may affect the processes, products, environment, business and in general all around them. The important thing about improvement projects is that they generate sustainable competitive advantages.

This article focuses on the adaptation of DMAIC Six Sigma as a strategy for environmental management, seeking to reduce the associated cost and the cycle of continuous improvement applied to achieve sustainable development in the production-minimization of environmental impact. Thus, the companies become co-responsible entities of the environment and driving forces of the models of management and sustainable development. This is evidenced in the article by a case study of the proposed model which steps are raised and at the end, its results.

**Keywords:** Six Sigma, quality, experiments.

1. Profesor Asociado. Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe. Grupo de Estadística Industrial (ESIN). nestorcaicedo@uac.edu.co

2. Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, ralphy-polo@hotmail.com

3. Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, haroldjose85@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

Los proyectos de mejora continua buscan eliminar todo aquello que no contribuye al valor agregado de los productos y a la satisfacción de los clientes. Para esto se realiza un detallado análisis de procesos que pueden ser redundantes, como por ejemplo, inconvenientes en el flujo de material, cuellos de botella, exceso de suciedad y acumulación de material de proceso. Es decir, todo aquello que podría afectar los procesos y disminuir la capacidad de estos, lo cual muchas veces resulta en problemas de calidad y afecta los tiempos de ciclo.

La filosofía *Lean* de mejoramiento continuo es un conjunto de técnicas y conceptos de carácter administrativo y estadístico que se enfocan en reducir la variabilidad en los procesos y minimizar el impacto negativo que estos tienen en los indicadores de interés de las empresas. La idea es tener procesos estables, los cuales pueden llegar a predecir con mayor facilidad el comportamiento de los indicadores de control y la gestión, por lo menos en el corto plazo. Además del control estadístico sobre los mismos, se puede asegurar con un cierto nivel de confianza que no se generará inconformidad o insatisfacción en el medio, al tiempo que se pueden realizar análisis que permitan identificar de manera certera las causas principales que afectan el rendimiento de los procesos (Bañuelas, Antony & Brace, 2005).

El gran inconveniente de la mayoría de las empresas es que toman decisiones apresuradas antes de que estas sean evaluadas profundamente (Brady & Allen, 2006). En este punto Seis Sigma juega un papel determinante ya que permite reconocer los problemas, priorizar decisiones, escoger la solución más viable e implementarla, así como controlar y mantener los beneficios (Antony, Kumar, & Madu, 2005).

Este artículo se basa en una reflexión sobre el uso de la metodología DMAMC de los programas Seis Sigma de calidad, como estrategia para llevar a cabo actividades que buscan una mejor gestión ambiental, y por ende el desarrollo sostenible validado en el consumo de un disolvente químico utilizado en los procesos de limpieza de equipos de litografía.

## El programa Seis Sigma

Para todas las empresas son importantes los indicadores, la minimización de reclamaciones, quejas, no conformidades y productos defectuosos, así como la optimización de recursos invertidos en la gestión del día tras día. Para esta gestión, Motorola – empresa de clase mundial –, desarrolló la metodología Seis Sigma de calidad, con el fin de hacer esbeltas las operaciones de producción a través de una formación del recurso humano, inversiones menores en tecnología, la estadística aplicada y los ciclos de mejora continua; de esta manera se busca hacer constantes, progresivos y crecientes los beneficios obtenidos. La metodología conocida como DMAMC tiene cinco pasos, definidos a continuación:

**D:** Definir. Proceso de definición del problema. Se relacionan los costos sobre el impacto ambiental y su correspondencia con los procesos de producción o servicios.

**M:** Medir. En este paso se definen las pautas y los planes de recolección de la información: incluye los datos que van a ser analizados para determinar los factores que afectan en el impacto ambiental.

**A:** Analizar. Se analiza la información recolectada.

**M:** Mejorar. Este paso es importante de acuerdo con el panorama de soluciones que planteen los integrantes del grupo de trabajo. En este paso se plantean las actividades de mejora que proyectarán una óptima relación con el medioambiente.

**C:** Controlar. Este paso es básico para el desarrollo sostenible dado que el ciclo de mejora continua se cierra y se hace progresivo en el tiempo, permitiendo obtener beneficios cuantificables en el tiempo de manera certera. El problema de la gestión ambiental se relaciona con esta metodología abordando la ecuación básica  $Y = f(X1, \dots, Xn)$ , según la cual los resultados de producto ( $Y$ ) son una función ( $f$ ) de muchas variables de procesos  $X1, \dots, Xn$ . El enfoque Seis Sigma identifica las variables del proceso que afectan significativamente los resultados de procesos.

Por obligación y necesidad, la aplicación de esta herramienta debe ser estricta, ya que en caso de implementarse los beneficios de la empresa pueden perderse y generar una tasa impositiva de dinero por incumplimiento de normas ambientales, además de la posibilidad de perder en la carrera contra las ventajas competitivas.

**Primera fase: definición**

En esta fase se definen el alcance y las metas del proyecto de mejora, minimización o mitigación de los factores que afectan el medio, con el fin de implementar un plan de análisis de causas que conlleven a un adecuado proceso de medición.

Para lograr lo anterior se conforma un grupo de trabajo que sea capaz de emitir y responder a las siguientes preguntas: ¿cómo son los procesos de producción?, ¿qué está fallando en los procesos?, ¿cuál es el problema principal?, ¿dónde se está generando?, ¿cuál es su impacto?, ¿cómo se puede medir y mejorar? y ¿cómo se debe sostener en el tiempo el ciclo de mejora?

En este paso se cuantifican los costos que afectan la gestión actual y las consecuencias que de esta se derivan. Con el fin de encontrar las causas y sus costos, el equipo de trabajo debe iniciar con el registro de los datos de los procesos de producción o servicio que determinan las causas principales, la forma como afectan al medioambiente y su incidencia en la producción.

**Segunda fase: medición**

En esta fase se realiza la caracterización de cada uno de los procesos productivos y se registra información importante con el fin de determinar la capacidad de los procesos iniciales (Pyzdek, 2003).

La caracterización de los procesos permite tener una clara visión de los diferentes pasos para generar el impacto ambiental (*Y*) y las variables relevantes (*X*), las cuales afectan dicho proceso y van a ser medidas en esta fase.

**Tercera fase: análisis**

En esta fase se realiza el análisis de la información y los datos con el fin de probar si las posibles causas realmente afectan significativamente el impacto ambiental. En este paso se trabaja con las causas que el equipo de trabajo determina que son relevantes en la fase de medición. Se define qué se piensa probar, las hipótesis y la herramienta estadística que se va a utilizar.

**Cuarta fase: mejora**

En la fase de mejora, el equipo trata de determinar las herramientas que posibiliten establecer la relación causa-efecto entre las variables significativas y los indicadores de gestión ambiental con el fin de predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso y su impacto sobre el medioambiente. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso y los indicadores que los definen. En esta etapa es posible evaluar el beneficio

económico que pueden llegar a tener estos a partir de las estrategias de mejora.

**Quinta fase: control**

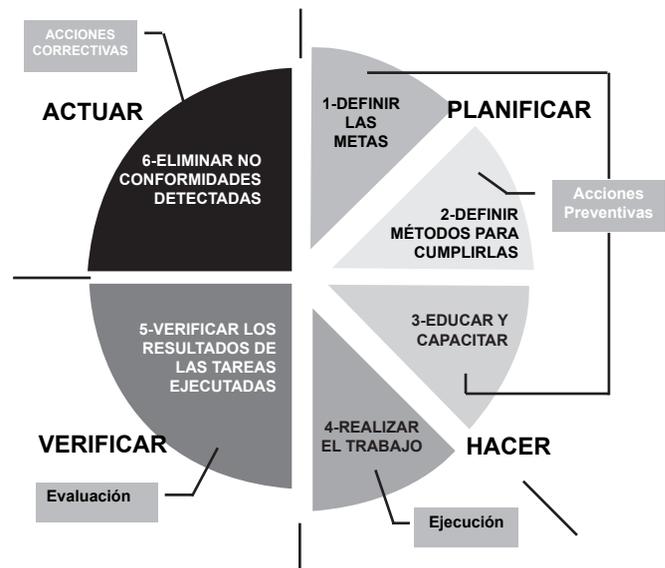
En esta fase se busca mantener los beneficios alcanzados. Para esto es importante crear mecanismos que permitan un adecuado monitoreo de las actividades que se han desarrollado en las fases de la calidad. Esto con el fin de tomar acciones antes de que los procesos generen un producto no conforme o actividades que no generen valor agregado al proceso.

Para lograrlo se debe incorporar a todo el proceso el conjunto de herramientas que soportan una mejora continua y sistemática. Este paso permite el desarrollo sostenible, de tal manera que el programa de gestión ambiental en la compañía pueda ser constante en el tiempo.

**Definición del modelo según el ciclo Deming de mejora continua**

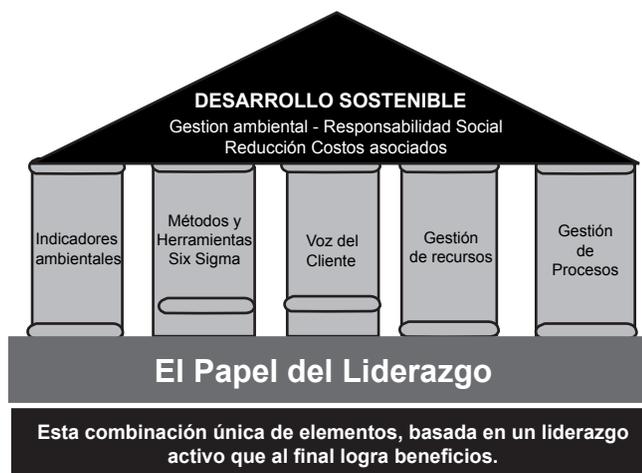
El modelo de implementación de la mejora continua para el desarrollo sostenible se ajusta al modelo de calidad de Deming; se tienen en cuenta las actividades requeridas desde la planificación hasta el actuar sobre la mejora y las no conformidades como el problema ambiental generado. A continuación se expone el

**Figura 1.** Modelo Deming de gestión



**Fuente:** construcción de los autores

**Figura 2.** Integración de la metodología sobre la estructura de calidad



### Caso del modelo propuesto

A continuación se muestra un ejemplo del modelo de gestión.

a) Iniciando con las primeras etapas del modelo DMAMC (definir y medir), se identificaron las variables que afectaban significativamente el consumo de un disolvente utilizado para la limpieza de equipos de litografía utilizados en hojalata. Se reconoció la caracterización de los procedimientos que la compañía tenía enmarcados en su sistema de gestión de calidad.

Estas actividades propias del proceso litográfico para la fabricación de envases de hojalata y sus indicadores se evidenciaron a través de la observación directa sobre los registros de los departamentos de producción, gestión ambiental, despacho, control de calidad y salud ocupacional, para así adoptar métodos de trabajo adecuados que busquen la protección de la salud y del medioambiente minimizando costos de no calidad.

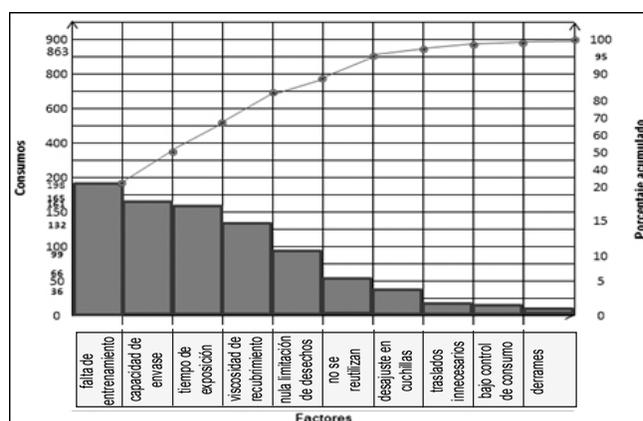
b) Luego se procedió a analizar y mejorar. En estas fases se evaluaron factores relevantes utilizando la técnica diagrama de Pareto para priorizarlos y luego evaluarlos estadísticamente por medio del diseño experimental. Posteriormente, ejecutando estrategias experimentales, se lograron establecer niveles de optimización de los factores, construyendo un modelo matemático representativo del consumo.

c) Por último, se llegó a la fase controlar. En esta etapa se diseñó y documentó un plan de manejo del disolvente a partir de la evaluación del modelo

matemático propuesto anteriormente, utilizando el *software* Minitab como herramienta informática de análisis de datos, soportado en pruebas de hipótesis que evidenciaron los cambios en los consumos y los gráficos de control de consumos implementados en la empresa, así como un análisis de costo/beneficio a partir de la caracterización de los nuevos parámetros de manipulación y uso del disolvente.

Con el diagrama de Pareto se consideraron los factores que incidían en los consumos de disolvente.

**Gráfico 1.** Pareto según consumos



**Fuente:** elaboración propia. Minitab

En el gráfico anterior se observa cómo un 20% de los factores (falta de entrenamiento, capacidad de envases, tiempo de exposición y viscosidad de los recubrimientos), representan un 80% sobre las razones de consumo de disolvente, por lo cual si se centra el diseño del experimento en estos cuatro factores, podríamos reducirlo en un 80% de las posibilidades.

### Diseño del experimento

De una forma sistemática se diseñaron los experimentos que permitieron conocer los efectos sobre los consumos, representados como variable de respuesta. Para la ejecución del experimento se codificaron los factores principales asociados a los consumos con sus niveles bajos y altos como -1 y 1 respectivamente. A continuación:

- Viscosidades de los recubrimientos (A): bajas y altas (-1,1).

- Entrenamiento del personal (B): no capacitado y capacitado (-1,1).
- Capacidad de envases (C): volumen de 3 y 5 galones (-1,1).
- Tiempo de exposición (D): nocturno y diurno (-1,1).

El cálculo de la réplica generó 48 muestras, extraído de las curvas características y los planes de las funciones de Minitab.

**Tabla 1.** Matriz doe 2K

Factores	Consumo en galones		
1.(1,1,-1-1)	3,5	4	3
2.(1,1,-1 1)	3	3,5	3
3.(1,1, 1-1)	4	4,5	3,5
4.(1,1, 1,1)	4	4	3,5
3.(1,-1,-1 -1)	4,5	3,5	4
6.(1,-1, -1 1)	4	4	4,5
7.(1,-1, 1-1)	4,5	5	4
8.(1,-1, 1, 1)	4	4,5	4
9.(-1,1,-1 -1)	2,5	2	3
10.(-1,1, -1 1)	2	2,5	2
11.(-1,1,1-1)	3,5	3,5	4
12.(-1,1,1, 1)	3	3,5	3,5
13.(-1,-1, -1-1)	3,5	3	3
14.(-1,-1, -1 1)	4	3,5	3,5
15.(-1,-1, 1-1)	4,5	4	3,5
16.(-1,-1, 1, 1)	3	3,5	3

Fuente: elaboración propia

La anterior tabla muestra el diseño experimental con tres réplicas de 16 combinaciones cada una y un total de 48 datos para una distribución normal, probada mediante la gráfica de probabilidad de normalidad con aleatorizaciones que tienen un orden de corrida para la toma de dichos datos de consumos y obtención de la tabla ANOVA de Minitab.

**Tabla 2.** Resultado del modelo experimental

Diseño factorial completo	
Factores: 4	Diseño base: 4; 16
Corridas: 48	Réplicas: 3
Bloques: 1	Puntos centrales (total): 0
Todos los términos están libres de estructuras alias	

Fuente: elaboración propia

R-cuad. = 79,08 % R-cuad. (Pred.) = 52,94 %  
R-cuad. (Ajustado) = 69,28 %

De esta forma, podemos expresar parcialmente el modelo matemático de la siguiente forma:

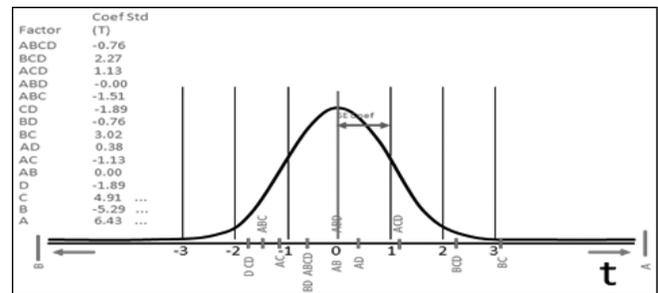
$$Y = 3.5625 + 0.3542A - 0.2917B + 0.2708C - 0.1042D + 0.0000AB - 0.0625AC + 0.0208AD + 0.1667BC - 0.0417BD - 0.1042CD - 0.0833ABC - 0.0000ABD + 0.0625ACD + 0.1250BCD - 0.0417ABCD$$

Al analizar los valores de ajuste, el consumo del disolvente podía ser explicado por estas variables, razón por la cual se procedió a optimizar el modelo.

### Obtención del modelo reducido

Dentro del diseño de análisis factorial necesitamos saber cuáles eran los términos significativos y cuáles no, para nuestro modelo matemático. Para esto se hicieron pruebas de hipótesis que determinarían esta condición.

**Figura 3.** Hipótesis para coeficientes



Fuente: elaboración propia

De esta forma se consiguió eliminar términos que no eran significativos y así obtener una reducción de nuestro modelo matemático. Desde el Minitab obtuvimos:

R-cuad. = 72,74 % R-cuad. (Pred.) = 62,63 %  
R-cuad. (Ajustado) = 68,75 %

Nuestro modelo matemático reducido quedaría de la siguiente forma:

$$Y = 3.5625 + 0.3542A - 0.2917B + 0.2708C + 0.1667BC + 0.1250BCD$$

De la gráfica de Pareto y efectos estandarizados, el factor D es de tipo no significativo con un alfa = 0.05; por lo tanto lo omitimos del modelo matemático.

### Resultados

Ya que el objetivo fue optimizar el consumo de este disolvente a través de una disminución de su uso, a partir de la aplicación del modelo matemático reducido

se procede a la toma de muestras que evidencien la estimación realizada. Para esto se diseñó un plan de muestreo conservando la distribución normal y teniendo en cuenta los niveles bajos (-1) para cada factor e iteración.

**Tabla 3.** Datos de consumo según modelo matemático

Observaciones	Consumos (gal)	Consumos (gal)	Suma
1	3,75	2,75	9,5
2	3,25	2,5	
3	3,5	2,75	Promedio
4	2,75	3	2,9687
5	3	2,5	
6	3,5	3,5	
7	2,5	3,75	
8	3,75	3	
9	2,75	2,25	
10	2,25	2,5	
11	3,75	2,75	
12	2,5	2,5	
13	2,25	3,75	
14	2,5	3	
15	3	2,75	
16	3,25	3,5	

Fuente: elaboración propia

Del valor esperado 3,5 y minimizado en 3,27 galones para el consumo de disolvente en el lavado de equipos y piezas mecánicas según el modelo matemático, se obtiene un promedio de  $2,9687 \approx 3$  galones de consumo, una vez tomadas dos réplicas de dieciséis datos cada una.

Para la comprobación de la evidente disminución de los consumos se procedió a plantear una prueba de hipótesis para verificar si los nuevos datos se ajustaban al modelo matemático.

**Tabla 4.** Consumos antes y después

	Consumo antes	Consumo después	
	3,5	4	3,75
	3	3,5	3,25
	4	4,5	3,5
	4	4	2,75
	4,5	3,5	3
	4	4	3,5
	4,5	5	2,5
	4	4,5	3,75
	2,5	2	2,75
	2	2,5	2,25
	3,5	3,5	3,75
	3	3,5	2,5
	3,5	5	2,25
	4	3,5	2,5
	4,5	4	3
	3	3,5	3,25
desviación	0,729560186		0,498990917
promedio	3,625		2,96875

Fuente: elaboración propia

**Tabla 5.** Prueba Z calculada desde Microsoft Excel

Prueba z para medias de dos muestra		
	Variable 1	Variable 2
Media	3,625	2,96875
Varianza (conocida)	0,72	0,49
Observaciones	32	32
Diferencia hipotética de las medias	0	
Z	3,374827819	
P(Z<=z) una cola	0,000369309	
Valor crítico de z (una cola)	1,644853627	
Valor crítico de z (dos colas)	0,000738619	
Valor crítico de z (dos colas)	1,959963985	

Fuente: elaboración propia

A partir del análisis, con un nivel de confianza del 95%, no existía suficiencia estadística para aceptar (H0), por lo tanto se pudo comprobar que los consumos anteriores al proyecto eran evidentemente mayores que los nuevos.

### Control estadístico para el proceso

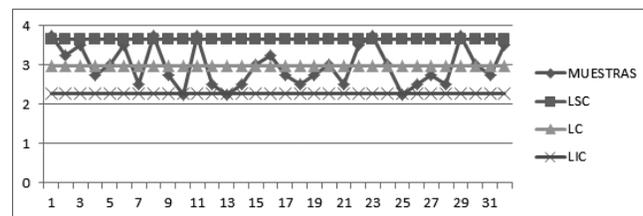
Esta herramienta estadística se propone para controlar el consumo de este disolvente. Pretende cubrir los objetivos orientados al seguimiento y vigilancia del proceso, reducción de la variación y menores costos por consumo.

De esta forma se calcularon los límites de control superior e inferior para la media y rango de los nuevos datos obtenidos, buscando ilustrar las diferencias de los consumos del disolvente antes y después de las mejoras.

**Tabla 6.** Límites de control estadístico

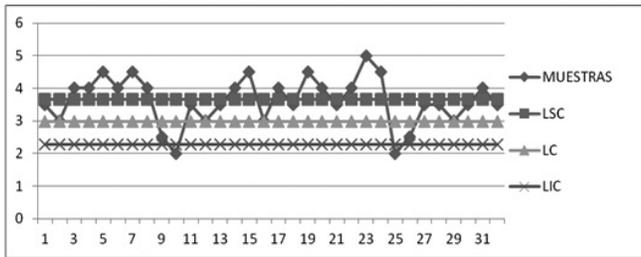
VOLUMEN	Muestras			
	1	2	3	4
	3,75	2,75	2,75	2,25
	3,25	2,25	2,5	2,5
	3,5	3,75	2,75	2,75
	2,75	2,5	3	2,5
	3	2,25	2,5	3,75
	3,5	2,5	3,5	3
	2,5	3	3,75	2,75
	3,75	3,25	3	3,5
Promedio	3,25	2,78125	2,96875	2,875
Límite de control superior	3,6521875			
Límite de control inferior	2,2853125			

**Gráfico 2.** Gráfico de control para los datos antes de la mejora



Fuente: elaboración propia

**Gráfico 3.** Gráfico de control para los datos después de la mejora



Fuente: elaboración propia

De esta forma se ilustró el cambio en el proceso de limpieza y consumo del disolvente, pasando de una capacidad de procesos de  $C_p = 0.38$  a un  $C_p = 1.02$ , teniendo en cuenta que los consumos máximos de la tolerancia fueron los calculados por el proceso de optimización a través del modelo matemático.

Adicionalmente se evidenció el control del proceso de limpieza y los respectivos consumos del disolvente.

**Análisis de beneficio económico**

Dado que es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión, se determinó valorar la conveniencia de los cambios en términos económicos derivados de los costos y beneficios deseables e indispensables.

**Tabla 7.** Costos de producción consumo de disolvente

Costos de producción			
Lista de costos	Consumo promedio-mes (2011)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Paros de producción 0	0,35 tambores 1	1'000 000	385 000
Cambios de referencias	23,56 tambores 1	1'000 000	25'920 000
Mantenimiento inventario 2	4 tambores	165 000	165 000
<b>TOTAL</b>			<b>26'470 000</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 8.** Costos consumo de factores relevantes según Pareto

Consumo de factores relevantes según Pareto antes de la mejora						
FACTORES	CONSUMOS (GAL.)	COSTO UNITARIO(S)	COSTO TOTAL	COSTO ACUMULADO	%	%ACUM.
Falta de entrenamiento	1982	20,000	3'960 000	<b>3'960 000</b>	22,93	22,93
Capacidad de envase	1652	20,000	3'300 000	<b>7'260 000</b>	19,1	42,03
Tiempo de exposición	161,44	20,000	3'228 800	<b>10'488 800</b>	18,69	60,72

Fuente: elaboración propia

**Tabla 9.** Costo consumo de factores según Pareto después de mejora

Consumo según Pareto después de mejora						
FACTORES	CONSUMOS (GAL.)	COSTO UNITARIO(S)	COSTO TOTAL	COSTO ACUMULADO	%	% ACUMULADO
Falta de entrenamiento	165	20,000	3'300 000	<b>3'300 000</b>	22,93	22,93
Capacidad de envase	154,44	20,000	3'088 800	<b>6'388 800</b>	19,1	42,03
Tiempo de exposición	121,08	20,000	2'421 600	<b>8'810 400</b>	18,59	60,72
Viscosidad	109,56	20,000	2'191 200	<b>11'001 600</b>	15,28	76,01
<b>TOTAL</b>	<b>550,08</b>	<b>20,000</b>	<b>11'001 600</b>		<b>76</b>	

Fuente: elaboración propia

**Tabla 10.** Costo diferencia de consumo antes y después

Consumo según Pareto después de mejora						
FACTORES	CONSUMOS (GAL.)	COSTO UNITARIO(S)	COSTO TOTAL	COSTO ACUMULADO	%	% ACUMULADO
Falta de entrenamiento	33	20,000	660 000	<b>660 000</b>	22,93	22,93
Capacidad de envase	10,56	20,000	211 200	<b>871 200</b>	19,1	42,03
Tiempo de exposición	40,36	20,000	807 200	<b>1'678 400</b>	18,59	60,72
Viscosidad	22,44	20,000	448 800	<b>2'127 200</b>	15,28	76,01
<b>TOTAL</b>	<b>106,36</b>	<b>20,000</b>	<b>2'127 200</b>		<b>76</b>	

Fuente: elaboración propia

Evidentemente existe un ahorro en los costos de consumo después de la mejora, en una cantidad significativa de \$2,127,200/mes o \$25,526,400/año.

**Tabla 11.** Relación costo-beneficio

Costos de producto de calidad		Beneficios de producto de calidad	
Costos	Costo unitario-mes(\$)	Beneficios	Costo unitario-mes(\$)
Capacitación	375 000	capacitación	660 000
Tiempo exposición	110 000	Tiempo exposición	807 200
Viscosidad recubrimiento	108 000	Viscosidad recubrimiento	448 800
Desechos (estopas)	87 000	Desechos (estopas)	2 500
No se reutilizan	21 600	No se reutilizan	21 600
Cuchillas	56 000	Cuchillas	56 000
Control consumo	108 800	Derrames	11 250
		Control de consumo	40 000
		Control consumo	108 000
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>867 200</b>	<b>BENEFICIO TOTAL</b>	<b>2'156 150</b>

Si analizamos los cálculos de costo-beneficio, por cada peso gastado se obtienen \$2.48 de retorno positivo.

**Discusión**

La aplicación de la metodología Seis Sigma es una herramienta de gran ayuda para eliminar todo aquello que no constituye valor agregado; esto con el fin de reducir el impacto sobre las variables de interés, en este caso sobre el medioambiente.

Para la exitosa aplicación de un programa Seis Sigma se requiere el compromiso del equipo de trabajo y de todos los miembros de la compañía, además

de establecer controles que permitan mantener los beneficios para no volver a usar prácticas inadecuadas.

El diseño e implementación del programa puede llegar a reducir las inversiones para la mitigación de los efectos negativos que pueden afectar el medioambiente. Se organiza la documentación de los procesos productivos, con lo cual se obtiene una mejor descripción de cada etapa.

Se introduce la cultura empresarial, implantando una nueva mentalidad orientada a una mayor conciencia sobre la importancia de la gestión ambiental y el desarrollo sostenible.

Se establecen también las bases necesarias en caso de que la empresa busque certificarse con la norma ISO 14000.

Es evidente la mejora de calidad en el proceso al pasar de una capacidad del proceso de 0.38 a 1.02 con un incremento de cumplir en un 62% (los mejores consumos del disolvente).

Los resultados son importantes en cuanto al ahorro de \$25.256.400 anuales para el consumo del disolvente, lo cual hace productivo el proceso de limpieza cumpliendo el requisito de sostenibilidad para la empresa.

En el análisis estadístico no se incluye la correlación entre la salud de operarios (incapacidades, problemas respiratorios o dermatológicos) que manipulan este disolvente y la minimización del consumo.

## Referencias

Bañuelas, R. Antony, J. Brace, M., (2005), *An Application of Six Sigma to Reduce Waste, Quality & Reliability Engineering International*, pp. 553-570.

Frings, G. Grant, L., (2005). *Who moved My Sigma... Effective Implementation of the Six Sigma Methodology to Hospitals. Quality & Reliability Engineering International*, pp. 311-328.

Antony, J. Kumar, M. Tiwari, M. (2005). *An application of Six Sigma methodology to reduce the engine-overheating problem in an automotive company. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, pp. 633-644.

Pyzdek T.(2003) *The Six Sigma Project Planner: A Step-by-Step Guide to Leading a Six Sigma Project Through DMAIC*, New York: McGraw-Hill.

Hayler R. New York (2005) *What is Six Sigma Process Management?* New York: McGraw-Hill.

Antony, J., Kumar, M. (2005) *Six Sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises. International*

*Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 22 ( 8), pp. 860-874.

Brady, J. E., Allen Theodore T., (2006) *Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research*, Quality and Reliability Engineering International. Vol. 22, pp. 335-367. International Standard Organization. ISO 14000.

Distrito Capital Acuerdo 19 de 1996 SIAC (Sistema Ambiental del Distrito Capital)

Distrito Capital. Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital.

Colombia Decreto 186794 Ciencias ambientales.

Colombia, Decreto 2 de 1982. (Enero 11). Ministerio de Salud. Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I. de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974 Aire (emisiones atmosféricas).

Colombia Decreto 948 de 1995. Prevención contaminación atmosférica Colombia Decreto 1753 de 1994. Gestión de manejo ambiental en Colombia, Ley 99 del 93.

Icontec (2010). Guía técnica Colombiana para la separación en la fuente GTC 24 8 Jun. 2010.

Colombia, Ley 373 de 1997, Resolución 2309/86 Residuos (residuos especiales).

BS OSHAS (2007) Norma internacional de gestión de la salud y seguridad ocupacional BS OHSAS 18001: 2007.

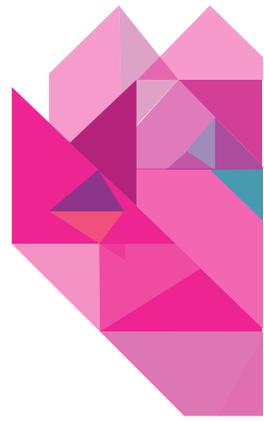
Reglamentación Consejo Nacional Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

Antony, J. Stet, M. Tiwari, M., (2005). *An application of Six Sigma methodology to reduce the engine-overheating problem in an automotive company. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers*, pp. 633-644.

Besterfield, Dale. (2009). *Control de calidad*. Madrid: Pearson.

Montgomery Douglas (2007). *Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería*; México: Editorial Limusa.

[http://web.idrc.ca/uploads/user-S/11437600891gr-02\\_10-solventes\\_pag83-88.pdf](http://web.idrc.ca/uploads/user-S/11437600891gr-02_10-solventes_pag83-88.pdf). Recuperado el 5 de diciembre de 2011.



# EDUCACIÓN Y SOCIEDAD

---

 DIALÉCTICA